

# 江苏条子泥垦区景观格局变化与驱动机理研究

俞学志<sup>1</sup>, 季耀波<sup>2</sup>, 王 炼<sup>1</sup>, 徐 敏<sup>1</sup>

(1. 南京师范大学海洋科学与工程学院, 江苏 南京 210023)

(2. 中国电建集团华东勘测设计研究院有限公司, 浙江 杭州 311122)

**[摘要]** 围海造地是解决土地矛盾的重要途径. 大型围填海工程不仅对海洋生境造成深远影响, 围垦区内景观生态格局变化更是直接影响着区域的生态变化. 本文选取江苏条子泥垦区为研究对象, 采用 2010、2015、2018 和 2020 年 4 期遥感影像和环境生态调查等数据, 研究垦区内景观格局演变, 结合景观指数变化, 采用面积转移矩阵模型分析驱动因素, 进而提出生态保护措施. 研究结果表明: 建设初期各类景观面积变化快速, 破碎化增大, 修复期景观破碎化趋势降低. 开发与生态保护修复是围垦区景观格局演变的主导驱动力, 协调好围垦区开发与生态保护, 可以优化改善景观格局, 大幅度提升垦区生态功能.

**[关键词]** 景观格局, 驱动力, 条子泥

**[中图分类号]** P901 **[文献标志码]** A **[文章编号]** 1001-4616(2022)01-0055-09

## Research on Landscape Pattern Change and Driving Mechanism in Tiaozi Mud Reclamation Area in Jiangsu

Yu Xuezhi<sup>1</sup>, Ji Yaobo<sup>2</sup>, Wang Lian<sup>1</sup>, Xu Min<sup>1</sup>

(1. School of Marine Science and Engineering, Nanjing Normal University, Nanjing 210023, China)

(2. PowerChina Huadong Engineering Corporation Limited, Hangzhou 311122, China)

**Abstract:** Land reclamation is an important way to resolve land conflicts. Large-scale reclamation projects not only have a profound impact on the marine habitat, but also the changes in the landscape ecological pattern in the reclamation area directly affect the regional ecological changes. This paper selects Tiaozi mud reclamation area in Jiangsu as the research object, and uses data such as remote sensing images and environmental and ecological surveys in 2010, 2015, 2018 and 2020 to study the evolution of landscape pattern in the reclamation area, combined with landscape index changes, using the area transfer matrix model to analyze the driving factors, and then put forward ecological protection measures. The research results show that in the early stage of construction, the area of various landscapes has changed rapidly, fragmentation has increased, and the trend of landscape fragmentation has decreased during the restoration period. Development and ecological protection are the leading driving forces for the evolution of the landscape pattern in the reclamation area. Coordinating the development and ecological protection of the reclamation area can optimize and improve the landscape pattern and greatly enhance the ecological function of the reclamation area.

**Key words:** landscape pattern, driving force, Tiaozi mud

围填海历史悠久, 苏北范公堤和浙东大沽塘都是我国围填海工程的杰出代表<sup>[1]</sup>. 国外的填海造地工程也有近千年的历史<sup>[2]</sup>. 国外对围填海工程的研究, 主要是综合环境模拟和演绎分析等方法, 将围填海工程视为系统性研究, 经过全面的数据分析, 发掘内在规律, 最终提出针对性建议<sup>[3-4]</sup>. 我国围填海的环境生态影响研究前期主要关注单个围填海项目. 孙连成<sup>[5]</sup>利用实地调查的水质、泥沙等有关数据, 通过数值模拟和环境模拟来评估围垦工程对生态环境的影响. 龚文平等<sup>[6]</sup>对海南省黄龙港填海造陆工程进行系统性研究, 得出工程建设对水环境影响不大、对海岸保护作用显著. 当前众多学者已经开始研究我国围填海工程现状和对环境生态的响应. 沈永明等<sup>[7]</sup>分析江苏围填海相关工程数据, 得出历年来江苏围填海垦区聚集性特征、驱动力因子, 最终提出了未来江苏沿海围填海工程的发展模式. 徐敏等<sup>[8]</sup>按照“围填控制线+适

收稿日期: 2021-09-23.

基金项目: 江苏省海洋科技创新项目(JSZRHYKJ202002)、江苏省高校重大自然科学基金项目(19KJA180004).

通讯作者: 季耀波, 正高级工程师, 研究方向: 环境影响评价、环境监理. E-mail: 185436219@qq.com

宜围填规模”的研究思路,构建了江苏潮滩湿地的质量评估框架,并据此得出了江苏潮滩湿地生态价值;用潮流数学模型计算出了江苏各岸段的围填控制线;构建了潮滩适宜规模评价模型并确定了江苏各岸段的适宜围填规模,为研究潮滩围填规模提供了宝贵经验.

本文选取国内单体规模最大的农业利用型垦区——条子泥为研究对象,统计不同时期景观格局分布和景观演变数据,研究景观格局指数的大小和不同使用类型的面积转移变化,剖析景观演变驱动因素,从而了解大规模围垦工程景观格局演变的过程、特征和驱动因素,为生态保护和修复及相似工程的生态保护规划项目提供参考<sup>[9-10]</sup>.

1 研究区概况

东台条子泥垦区(32°43'N~32°53'N,120°52'E~120°58'E)位于苏北辐射沙脊中部,为梁垛河口至方塘河闸北侧的连陆滩涂<sup>[11-12]</sup>.条子泥属滨海相沉积地貌单元<sup>[11]</sup>.滩面东部的大型潮沟主要有西大港和东大港,潮滩宽度受其外侧沿岸分布的潮沟控制,南侧的条渔港和北侧西大港末梢均伸入条子泥腹地,形成高涂外围的低洼地带.条子泥垦区一期建设总面积6 095.62 hm<sup>2</sup>,东西向距离约3 km,南北长约18 km.条子泥围填项目按照农业综合开发养殖基地建设标准,将用海区的南侧和北侧洼地区作为生态水库,在用海区南北两侧紧靠围堤和排水闸的低洼海域由里向外依次布置了一级和二级净化池,构建生态式养殖池,形成景观式湿地型池塘,利用循环水集约化池塘养殖技术,建立统一规格养殖池,确立合理的养殖模式,构建人工湿地,合理配比不同功能区.

2 研究数据和方法

2.1 数据来源

2.1.1 遥感影像

本文以2010年、2015年、2018年、2020年4期Landsat影像为数据源,数据选取543波段进行合成.具体见表1.

2.1.2 其他数据

江苏省行政区矢量数据,用以提取江苏省条子泥垦区范围.

2.2 研究方法

2.2.1 遥感影像数据处理

原始遥感影像使用之前,对图像先预处理,包括几何校正、影像增强和条子泥区域的裁剪.本次配准几何校正的地理参考使用已经进行过精确配准的“江苏及长江三角洲ETM镶嵌影像”,坐标系为CGCS2000.几何校正使用专业的遥感影像处理软件ENVI5.3,研究区裁剪如图1.

表 1 遥感影像数据  
Table 1 Remote sensing image data

时间	传感器	潮位	空间分辨率/m
2010-05-24	TM	低潮位	30
2015-04-12	OLI	低潮位	30
2018-04-28	OLI	低潮位	30
2020-05-19	OLI	低潮位	30

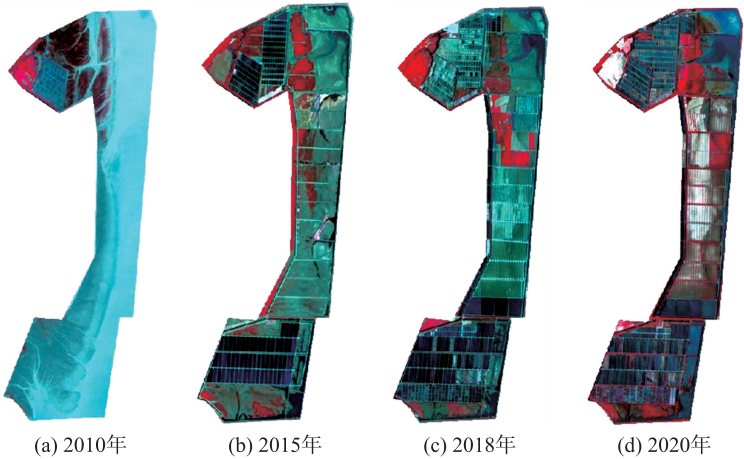


图 1 研究区影像图

Fig. 1 Image map of the study area




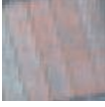
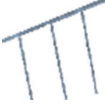


2.2.2 研究区景观分类与解译

综合考虑条子泥研究区的特点、研究区土地覆被和土地利用的特殊性、人类社会活动对生境的影响程度,采用适合垦区的景观类型指标,将研究区景观分为 2 种基本类型:自然景观和人工景观(见表 2),对人类活动影响较小的划分为自然景观,对人类活动影响较大的划分为人工景观<sup>[11-12]</sup>. 研究区景观的解译标志见表 3<sup>[13-14]</sup>. 最后通过 2015 年、2018 年和 2020 年实地调查数据点,并结合 Google Earth 的高分影像,获取各个年份的地物类型点,用于对土地覆盖数据进行精度验证,分类精度较好,均在 83.50% 以上<sup>[15]</sup>.

表 2 研究区景观分类标准

Table 2 Criteria for the classification of landscapes in the study area		
一级分类	二级分类	说明
自然景观	光滩	裸露出的沙泥滩,具备为鸟类等生物提供栖息的功能
	植被	芦苇、碱蓬等
	水体	除用于鱼虾蟹养殖以外的水体
人工景观	耕地	包含水田、旱地
	养殖池	用于养殖鱼虾蟹等海产品的养殖池塘
	建筑用地	围堤、隔堤、沟渠、道路
	未利用地	尚未开发利用的荒地,不具备生物栖息地功能

表 3 条子泥垦区景观解译标志

Table 3 Landscape interpretation signs for Tiaozi mud reclamation area				
景观类型	颜色	形状	纹理特征	影像标志
光滩	灰褐色	形状不规则,大面积块状分布	纹理细腻,水陆交界,边界明显	
植被	红色、淡红色	连片分布,几何形状不规则	纹理较细腻	
水体	深蓝色	几何形状不规则	纹理细腻	
耕地	灰色、红色	图形规整,呈大面积面状分布	纹理粗糙,人工痕迹明显	
建筑用地	淡灰色、白色	几何形状规则,细条状分布	纹理粗糙,轮廓明显,边界清晰	
养殖池	灰黑色	几何形状规则,大面积连片分布	纹理清晰,呈规则条带状或面状分布	
未利用地	白色夹红色	集中分布,几何形状不规则	纹理粗糙,内部色调不均	

2.2.3 景观指数分析法

景观格局指数分析法视为定量研究方法<sup>[16]</sup>. 计算景观格局指数使用 Fragstats4.2 软件分析<sup>[17]</sup>. 本文主要分析景观结构,筛选的指数是为了得到景观的结构信息,各类景观指数计算方法和生态学意义见表 4.

表 4 景观指数  
Table 4 Landscape index

景观指数	公式	生态学意义
斑块面积	$CA = \sum_{j=1}^n a_{ij} \left[ \frac{1}{10\,000} \right]$	斑块面积的大小能够影响生物物种的分布、能量和养分的分布. 其中 $a_{ij}$ 表示斑块的面积, 相当于将某一类型斑块所有斑块面积求和, 除以 10 000 将单位转成公顷.
斑块数量	$NP = n$	斑块数量是景观异质性和破碎度的重要指标.
斑块密度	$PD = \frac{N}{A} (10\,000) (100)$	描述景观破碎度和异质性.
香农多样性指数	$SHDI = - \sum_{i=1}^m [p_i \ln(P_i)]$	表示景观中各类镶嵌体的复杂性和变异性, 指标越大, 则景观的多样性趋势越高.
香农均匀度指数	$SHEI = \frac{SHDI}{\ln m}$	表示景观是由几个比例相近的类型组成, 并没有特别有优势或者劣势的类型. 而当值比较大时, 则表示景观受少量几个类型景观所制约.
景观形状指数	$LSI = \frac{e_i}{\min e_i}$	景观形状指数是对类型聚合度的简单描述.
最大斑块指数	$LPI = \left[ \frac{\max(a_{ij})}{A} \right] (100)$	表征最大斑块对整个类型或者景观的影响程度.
景观蔓延度指数	$CONTAG = \left[ \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^n \left[ \left( p_i \frac{g_{ik}}{\sum_{k=1}^n g_{ik}} \right) \ln \left( p_i \frac{g_{ik}}{\sum_{k=1}^n g_{ik}} \right) \right]}{1 + \frac{2 \ln n}{2 \ln n}} \right] (100)$	该指数描述的是景观里不同斑块类型的团聚程度或延展趋势.
斑块结合度	$COHESION = \left[ 1 - \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m p_{ij}}{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m p_{ij} \sqrt{a_{ij}}} \right] \left[ 1 - \frac{1}{\sqrt{A}} \right]^{-1} \times 100$	测量的是该类型的物理连接性, 当此类型的斑块结合度增大时, 斑块聚合度指数值增大.

2.2.4 景观类型转移矩阵模型

景观类型转移矩阵能够明确表达研究区域一定时间段内的景观类型之间的流失与转移及各类景观面积转移比例<sup>[18-19]</sup>. 其数学表达式为:

$$S_{ij} = \begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} & \cdots & S_{1n} \\ S_{21} & S_{22} & \cdots & S_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ S_{n1} & S_{n2} & \cdots & S_{nn} \end{bmatrix},$$

式中,  $n$  为景观类型的总数, 本文为光滩、植被、水体、耕地、建设用地、养殖池、未利用地 7 种类型;  $i$ 、 $j$  分别表示转移前、转移后的景观类型, 包括 2010—2015 年、2015—2020 年和 2018—2020 年 3 个研究段,  $S$  代表土地利用类型的面积.

3 结果与讨论

3.1 景观面积统计

条子泥垦区景观面积在 2010—2020 年发生了显著的变化, 分类结果见图 2. 根据表 5, 从时间尺度上看, 2010—2015 年光滩面积呈现上升趋势, 水体面积减少 87.38%, 植被面积呈现先增加后减少的趋势, 与人为开发活动密切相关, 主要以垦区内部基础设施配套建设为主. 2015—2018 年光滩面积减少 63.29%, 养殖池和耕地面积大幅上升. 2018—2020 年围垦后水体面积有所上升, 各类人工景观面积增加缓慢, 表明垦区内开发程度趋向饱和, 生态湿地和生态公园的建设成效逐步显现, 水体面积大幅增加, 生物栖息环境

得到改善.

围垦前 2010 年光滩和水体是主要景观类型,围垦后 2020 年耕地、建筑用地和养殖池是人工景观的主要类型,水体面积也明显增加,人为选择及不同的开发利用方式影响着垦区内景观分布.

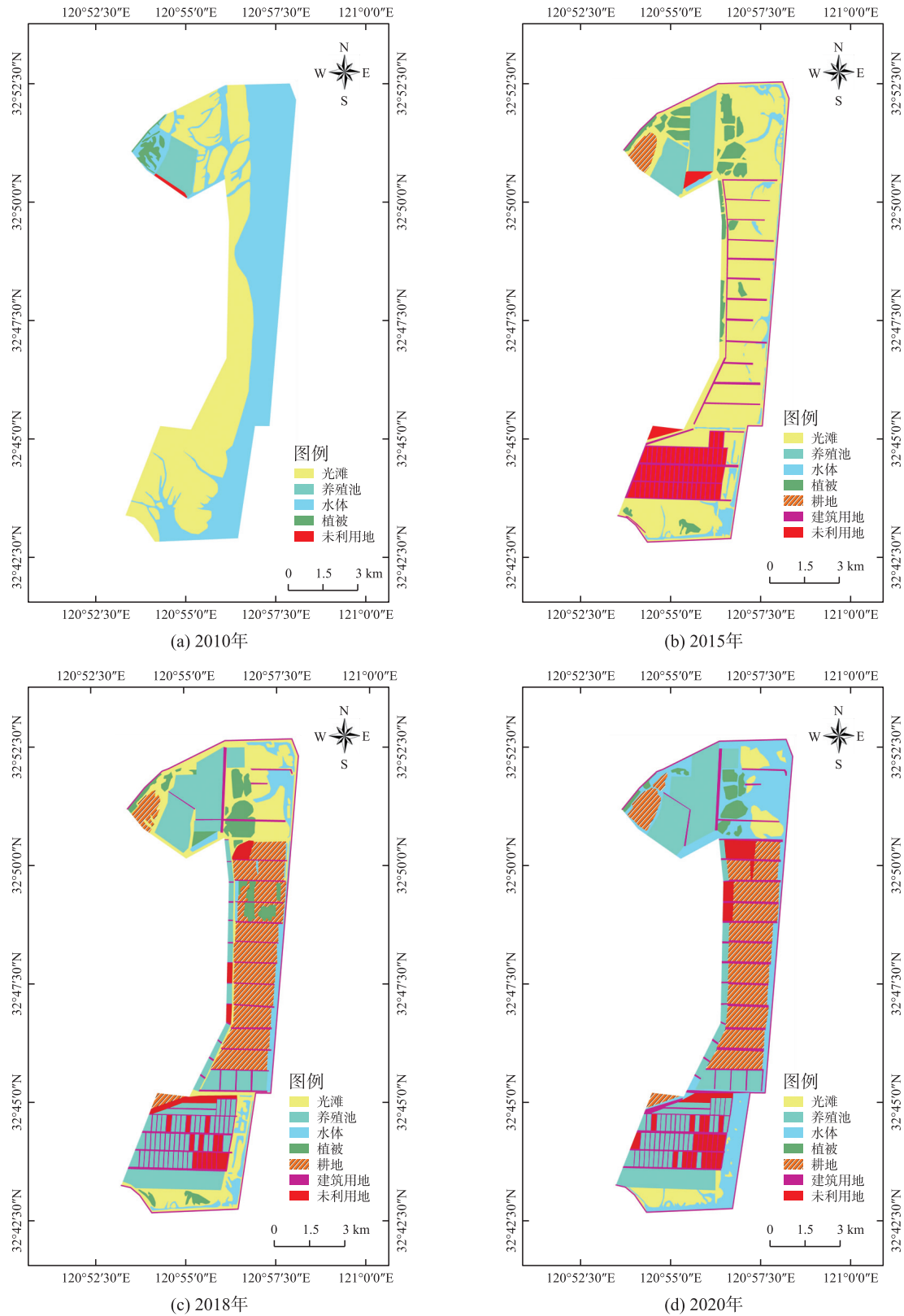


图 2 2010—2020 年景观分类图

Fig. 2 Landscape classification map from 2010 to 2020



表 5 各类景观面积及占比  
Table 5 Various landscape areas and percentages

景观类型	2010 年		2015 年		2018 年		2020 年	
	面积/hm <sup>2</sup>	占比/%	面积/hm <sup>2</sup>	占比/%	面积/hm <sup>2</sup>	占比/%	面积/hm <sup>2</sup>	占比/%
光滩	3 018.33	46.10	3 888.96	59.39	1 427.78	21.80	418.54	6.39
植被	88.80	1.36	476.08	7.27	439.14	6.71	196.22	3.00
水体	3 179.26	48.55	401.42	6.13	547.45	8.36	1 444.41	22.06
耕地	0.00	0.00	112.65	1.72	1 495.16	22.83	1 559.45	23.82
建筑用地	0.00	0.00	495.95	7.57	500.23	7.64	604.81	9.24
养殖池	242.09	3.70	539.85	8.24	1 844.97	28.18	1 893.98	28.92
未利用地	19.53	0.30	633.10	9.67	293.28	4.48	430.60	6.58
总计	6 548.01	100.00	6 548.01	100.00	6 548.01	100.00	6 548.01	100.00

3.2 景观转移分析

本研究通过 Arcgis 进行叠加分析,计算出 2010—2015 年、2015—2020 年和 2018—2020 年研究区各景观类型转移矩阵,见表 6、表 7 和表 8,以反映研究区各景观类型的增减状况和转变规律、趋势。

表 6 2010—2015 年景观面积转移矩阵  
Table 6 Landscape area transfer matrix from 2010 to 2015

hm<sup>2</sup>

2010 年	2015 年							
	耕地	光滩	建筑用地	水体	未利用地	养殖池	植被	总计
光滩	0.00	1 450.98	363.06	32.40	530.10	243.27	398.43	3 018.24
水体	44.55	2 401.65	131.49	369.99	99.63	67.23	64.62	3 179.16
未利用地	0.00	1.89	0.00	0.00	0.00	17.64	0.00	19.53
养殖池	0.00	26.37	0.00	0.00	3.51	211.68	0.00	241.56
植被	68.40	8.55	0.00	0.00	0.00	0.00	12.57	89.52
总计	112.95	3 889.44	494.55	402.39	633.24	539.82	475.62	6 548.01

表 7 2015—2020 年景观面积转移矩阵  
Table 7 Landscape area transfer matrix from 2015 to 2020

hm<sup>2</sup>

2015 年	2020 年							
	耕地	光滩	建筑用地	水体	未利用地	养殖池	植被	总计
耕地	104.13	0.00	0.00	8.82	0.00	0.00	0.00	112.95
光滩	1 327.05	380.70	238.95	996.75	164.61	752.13	29.25	3 889.44
建筑用地	25.38	0.36	332.19	15.93	49.14	71.55	0.00	494.55
水体	33.57	8.46	4.32	333.54	10.17	12.33	0.00	402.39
未利用地	34.29	0.00	18.90	10.89	191.43	377.73	0.00	633.24
养殖池	0.00	0.00	1.71	5.85	0.00	532.26	0.00	539.82
植被	35.64	28.53	4.41	70.38	17.64	150.57	168.45	475.62
总计	1 560.06	418.05	600.48	1 442.16	432.99	1 896.57	197.70	6 548.01

表 8 2018—2020 年景观面积转移矩阵  
Table 8 Landscape area transfer matrix from 2018 to 2020

hm<sup>2</sup>

2018 年	2020 年							
	耕地	光滩	建筑用地	水体	未利用地	养殖池	植被	总计
耕地	1 371.33	0.00	64.17	21.42	31.77	3.87	0.00	1 492.56
光滩	58.95	363.96	62.19	764.82	39.33	103.50	36.90	1 429.65
建筑用地	4.68	3.60	390.96	20.97	18.99	66.33	0.72	506.25
水体	10.53	0.45	5.22	503.55	23.13	1.35	0.00	544.23
未利用地	0.00	0.00	35.01	12.42	175.59	71.19	0.00	294.21
养殖池	0.00	6.48	39.60	33.84	135.45	1 624.86	0.36	1 840.59
植被	114.57	43.56	3.33	85.14	8.73	25.47	159.72	439.74
总计	1 560.06	418.05	600.48	1 442.16	432.99	1 896.57	197.70	6 548.01

3.2.1 2010—2015 年景观转移情况

光滩、水体和植被自然景观少部分转变为人工景观。其中光滩主要转变为未利用地、植被、建筑用地,

转换面积分别为 530.10 hm<sup>2</sup>、398.43 hm<sup>2</sup>、363.06 hm<sup>2</sup>,转移比例分别为 17.56%、13.20%、12.13%。水体大多转变为光滩、建筑用地、未利用地,转换面积分别为 2 401.65 hm<sup>2</sup>、131.49 hm<sup>2</sup>、99.63 hm<sup>2</sup>,其中光滩转移占比为 75.54%;其次为养殖池、植被,转换面积分别为 67.23 hm<sup>2</sup>、64.62 hm<sup>2</sup>;少量转变为耕地,转换面积为 44.55 hm<sup>2</sup>。

2010—2015 年属于建设初期,主要以围垦和内部基础设施配套建设为主,光滩景观较为完整,属于较为原始的阶段。这也表明大规模围垦的开发周期相对较长,条子泥围垦施工超过 20 个月,其后还需更长的时间建设内部配套设施,因此围垦竣工初期景观格局变化主要表现为垦区内部的自然演替,叠加少部分开发活动。

3.2.2 2015—2020 年景观转移情况

光滩主要转变为耕地、水体和养殖池,转换为耕地的面积为 1 327.05 hm<sup>2</sup>,转移比例为 34.12%,转换为水体、养殖池的面积分别为 996.75 hm<sup>2</sup>、752.13 hm<sup>2</sup>,分别占比 25.63%、19.34%。未利用地主要转变为养殖池,转换面积为 377.73 hm<sup>2</sup>,转移比例为 59.65%。植被绝大多数转变为养殖池,转移比较明显,转换面积达 150.57 hm<sup>2</sup>,转移比例为 31.66%;其次转变为水体,转换面积为 70.38 hm<sup>2</sup>,占比为 14.80%。

2015—2020 年是垦区内部取排水沟渠、道路等基础设施配套完成、种养殖规模快速增加阶段,也是围垦区景观格局快速改变、由自然景观向人工景观转变的阶段。

3.2.3 2018—2020 年景观转移情况

光滩和水体几乎全分布在条南和条北生态公园内,其中光滩主要转变为水体,转换面积为 764.82 hm<sup>2</sup>,转移比例高达 53.50%,人工景观面积增加较少。

该时间段为垦区内生态优化开发阶段,开发规模增加有限,种养殖规模开发强度趋于稳定,生态类景观的面积和格局得到关注和保护,并通过生态公园和生态湿地的建设加以保护和提升。

3.3 景观格局指数分析

选取斑块数量、斑块密度、景观蔓延度指数、香农多样性指数、香农均匀度指数、景观形状指数、最大斑块指数、斑块结合度来分析条子泥景观格局变化。

3.3.1 景观破碎度指数分析

景观的破碎化可用斑块数量、斑块密度和最大斑块占景观面积比例等指数进行分析(见表 9)。2010—2018 年,斑块数量不断增加,从 18 个逐渐增加到 165 个,斑块密度从 0.274 9 个/hm<sup>2</sup> 增加到 2.520 1 个/hm<sup>2</sup>,直接反映了该时段内垦区景观的严重破碎化现象;最大斑块面积占比由 46.514 6%下降至 14.853 8%,分析其原因,在此期间垦区内进行大规模开发,耕地、养殖池新增斑块数量剧多且规模不一,同时也使得原来成片的大面积光滩、水体被分割开来,形成了一些小斑块。2018—2020 年,斑块数量有所减少,由 165 个缩减到 143 个,斑块密度由 2.520 1 个/hm<sup>2</sup> 减少到 2.184 1 个/hm<sup>2</sup>,表明景观破碎化减小,最大斑块面积占比由 14.858 3%增加到 17.724 4%,说明 2018—2020 年垦区内开发活动趋于饱和,部分种养殖小斑块转换为未利用地,条南条北生态湿地建设使得水体连通性增加,斑块破碎度降低,生态修复效果明显。

3.3.2 景观聚集度指数分析

景观的聚集程度主要与蔓延度指数、景观形状指数、斑块结合度等指数相关,见表 10。2010 年,垦区景观蔓延度指数为 67.538 3%,相对较高,分析其原因,垦区内处于未开发的原始状态,光滩和水体等优势斑块类型连通度极高。到 2018 年,景观蔓延度指数下降为 45.468 7%,说明垦区内原有优势斑块类型破裂,空间优势大大降低,此期间垦区开发活动剧烈,原来光滩、水体优势斑块被部分耕地、养殖池所取代。2010—2018 年景观形状指数大幅上升,由 5.769 4 增加到 13.320 4,说明垦区内斑块形状不规则化现象严重,长条形、指型等过多不规则斑块形状的出现导致原本适宜物种繁衍生存的斑块不再适合栖息,影响了生态平衡,自然景观逐步转变成养殖池和耕地,最终导致自然景观的主导趋势降低。2018—2020 年,斑块结合度变化不大,景观形状指数由 13.320 4 下降到 11.464 8,景观蔓延度指数也有所上升,说明垦区内不

表 9 景观破碎度指数			
Table 9 Landscape fragmentation index			
年份	斑块数量/个	斑块密度/(个/hm <sup>2</sup> )	最大斑块面积占比/%
2010	18	0.274 9	46.514 6
2015	119	1.817 6	57.897 9
2018	165	2.520 1	14.858 3
2020	143	2.184 1	17.724 4

规则斑块形状有所减少,物种栖息地得到改善,生态环境相对平衡.

3.3.3 景观多样性指数分析

条子泥垦区的景观多样性指数见表 11. 2010—2018 年香农多样性指数由 0.905 2 增加到 1.751 5,反映出垦区内景观异质性不断增高,景观类型较为复杂,2018—2020 年香农多样性指数有所下降,表明景观类型多样化有减弱趋势;香农均匀度由 2010 年的 0.562 4 上升到 2018 年的 0.900 1,2018—2020 年有所好转,可见自 2018 年景观变得均匀,表明垦区生态环境的稳定性、生态系统的抗干扰能力得到加强,生态恢复效果较为明显. 2018—2020 年为垦区优化开发阶段,开发强度逐渐减缓,渔业资源恢复、滨海湿地生态与景观修复和建设、生态岸线建设等生态修复措施实施效果显著.

表 10 景观聚集度指数				表 11 景观多样性指数		
Table 10 Landscape aggregation index				Table 11 Landscape diversity index		
年份	蔓延度指数/%	景观形状指数	斑块结合度/%	年份	香农多样性指数	香农均匀度指数
2010	67.538 3	5.769 4	99.520 7	2010	0.905 2	0.562 4
2015	56.645 4	12.856 5	99.326 6	2015	1.367 9	0.703 0
2018	45.468 7	13.320 4	98.055 8	2018	1.751 5	0.900 1
2020	47.825 7	11.464 8	98.030 0	2020	1.713 7	0.880 7

3.4 驱动力因素分析

景观格局演变驱动力主要为自然驱动力和人为驱动力,同一地区景观格局的演变可能是由于单个或者多个驱动力因素的相互作用. 由于围垦工程的实施,垦区内受自然条件影响的程度急剧减弱,同时垦区内开发和生态保护修复活动的持续推进使得垦区景观格局的演变主要是人为因素的影响,因此本文主要分析人为主导驱动力.

2010—2018 年条子泥围垦区主导驱动力为大规模种养殖地的建设. 条子泥垦区在此期间水产养殖、水稻和小麦种植活动及生态补偿有关工程措施驱动垦区内景观格局变化,垦区内景观破碎化趋势不断上升,斑块数量和景观形状指数都有所增加,其中种养殖地的拓张作为一个主导驱动力,其造成的主要影响为:养殖生产规模剧增、养殖和耕地缺乏高效的管理、垦区内部环境污染加剧、生物栖息环境得不到保障. 此外,人工景观扩张明显,作为区域内属于绝对优势景观的光滩被其他人工景观大量占据,使得垦区景观的破碎化严重,分离性加大,空间上景观呈现松散的现象. 2018—2020 年景观破碎化趋势有所减缓,主要由于世界自然遗产候鸟栖息地和调整后生态红线的保护、条南条北生态湿地与生态公园建设、部分种养殖小斑块转换为未利用地,垦区内开发强度趋向饱和,开发力度减缓,水产养殖、水稻种植等产业逐渐形成规模化,此时间段景观格局驱动力因素主要是生态与景观修复、生态岸线建设等生态修复工程.

3.5 讨论

(1)从景观生态规划角度,针对此类大规模围垦区,建议在工程规划、设计阶段要兼顾生产活动和生态保护修复,做好垦区景观格局规划,提升垦区生态功能. 自然景观功能的自动修复,需要维持其自然属性特征和边界形状,发挥其自然生态服务功能的价值. 耕地斑块空间分布特征与耕地景观的生态化紧密相关,耕地对农业产量及营养的扩散与输送十分重要. 耕地景观空间格局的优化需要对耕地的布局在空间上进行调整,以此影响耕地景观的生态过程,进而实现景观功能的利用最大化,以此来协调经济价值和生态价值,耕地利用与景观保护要互相协调.

(2)加强垦区内生态环境质量的动态监测和跟踪管理. 根据生态围垦的原则,围垦实施后,应进行水文、地形、海洋生态环境的跟踪观测和调查,并根据观测和调查结果,实时研究景观格局演变过程中的元素、生态要素等变化过程和机理,并关注对碳增汇的作用,对围垦过程中产生的动态污染,应立即查明污染源,采取保护措施.

4 结论

本文以条子泥为研究区,利用 2010 年、2015 年、2018 年和 2020 年 Landsat 系列遥感影像和生态调查数据,通过 3S 技术将研究区景观分为 7 类,应用景观生态学技术,分析围垦对研究区景观格局演变的影响,综合考虑研究区景观格局驱动因素,分析围垦带来的景观格局变化. 主要研究结论如下:



(1)2010—2018 年各类景观面积消长变化快速,面积显著增加的是耕地和养殖池,明显减少的为沙滩、水体。2018—2020 年,景观面积仍有变化,条南条北生态湿地面积增加,生态公园建设,水体面积得到明显提升。

(2)2010—2018 年景观斑块数量增多,趋向破碎化、离散化;景观均匀度上升、多样性增加、自然景观优势度降低。2018—2020 年斑块数量减少,景观破碎化趋势降低;景观均匀度、多样性下降。

(3)围垦区景观格局主导驱动因素为人为因素,2010—2018 年种养殖活动的大力发展为主要驱动力,2018—2020 年主要驱动力是垦区内生态保护修复活动。

(4)开发与生态保护修复为围垦区景观格局变化的主导驱动力,协调好围垦区开发与生态保护,可以优化改善景观格局,大幅度提升垦区生态功能,在一定程度上弥补因围垦工程造成的生态环境影响和损失。

### [参考文献]

- [1] 李加林,杨晓平,童亿勤. 潮滩围垦对海岸环境的影响研究进展[J]. 地理科学进展,2007,26(2):43-51.
- [2] PETHICK J. Estuarine and tidal wetland restoration in the United Kingdom: policy versus practice[J]. Restoration ecology, 2002,10(3):431-437.
- [3] CHEN X D, YU S B, CHEN J, et al. Environmental impact of large-scale tidal flats reclamation in Jiangsu, China[J]. Journal of coastal research, 2020,95:315-319.
- [4] SONG D H, WANG X H, ZHU X M, et al. Modeling studies of the far-field effects of tidal flat reclamation on tidal dynamics in the East China Seas[J]. Estuarine, coastal and shelf science, 2013,133:147-160.
- [5] 孙连成. 淤泥质海岸人工港岛水沙环境与海洋生态研究[D]. 天津:交通运输部天津水运工程科学研究所,2016.
- [6] 龚文平,王道儒.海南省临高县调楼乡黄龙港北侧围海工程的自然条件可行性分析[J]. 海岸工程,1995(3):36-41.
- [7] 沈永明,冯年华,周勤,等. 江苏沿海滩涂围垦现状及其对环境的影响[J]. 海洋科学,2006(10):39-43.
- [8] 徐敏,李培英,陆培东. 淤长型潮滩适宜围填规模研究,以江苏省为例[M]. 北京:科学出版社,2012.
- [9] 周昊昊,杜嘉,南颖,等. 1980 年以来 5 个时期珠江三角洲滨海湿地景观格局及其变化特征[J]. 湿地科学,2019,17(5):559-566.
- [10] 贾艳艳,唐晓岚,刘振威,等. 1995—2016 年长江沿岸芜湖区段景观格局梯度分析[J]. 地域研究与开发,2020,39(4):115-121.
- [11] 涂琦乐,刘晓东,华祖林,等. 条子泥围垦工程对近海生态环境的影响[J]. 河海大学学报(自然科学版),2015,43(6):542-547.
- [12] 陈才俊,徐向红. 条子泥一期工程对条子泥发育影响及工程防护措施[J]. 海洋工程,2015,33(5):105-112.
- [13] 周聪. 江苏条子泥垦区(一期)围垦工程后评价研究[D]. 南京:南京师范大学,2018.
- [14] 方仁建,沈永明,时海东. 基于围垦特征的海滨地区景观格局变化研究——以盐城海岸为例[J]. 生态学报,2015,35(3):641-651.
- [15] 杨钦,胡鹏,王建华,等. 1980—2018 年扎龙湿地及乌裕尔河流域景观格局演变及其响应[J]. 水生态学杂志,2020,41(5):77-88.
- [16] 范晨璟,田莉,申世广,等. 1990—2015 年间苏锡常都市圈城镇与绿色生态空间景观格局演变分析[J]. 现代城市研究,2018(11):13-19.
- [17] 色拥军,裴雯,马志兵,等. 盐池湾国家级自然保护区景观格局演变分析[J]. 环境科学与技术,2020,43(8):185-191.
- [18] 黄晓园,区智,彭建松,等. 普者黑省级自然保护区土地利用及景观格局变化研究[J]. 西部林业科学,2019,48(4):27-32,38.
- [19] 山中雪,赵霞,曹广超. 涅水流域近 10 年土地利用与景观格局演变分析[J]. 中国水土保持,2015(6):49-53.

[责任编辑:丁 蓉]